Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 2, Summer. 2019, p. 187-205

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، ص. ۲۰۵-۱۸۷

تأثیر مدیریت کود بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و جذب عناصر نیتروژن و فسفر توسط خرفه (*Portulaca oleracea* L.)

حامد جوادی[1]، پرویز رضوانی مقدم[2*]، محمد حسن راشد محصل[3]، محمد جواد ثقه الاسلامی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۷

چکیده

به‌منظور بررسی مدیریت کود بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و جذب عناصر نیتروژن و فسفر توسط خرفه، دو آزمایش جداگانه در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند با سه تکرار انجام شد. در آزمایش اول که به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد، چهار کود سبز شامل: شاهد (بدون کود سبز)، ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.)، منداب (*Eruca sativa* L.) و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای به‌عنوان عامل اصلی و سه سطح کود نیتروژن به‌صورت نیتروژن خالص شامل: صفر (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل فرعی بودند. در آزمایش دوم که به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد، تیمارهای آزمایش بر اساس ترکیبی از چهار منبع تأمین‌کننده نیتروژن شامل: کود گاوی، ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی (NPK) و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی) و نیز چهار نوع کود زیستی شامل: نیتروکسین (شامل ازتوباکتر و آزوسپیریلوم)، میکوریزا (*Glomus intraradices*)، بیوسولفور (شامل تیوباسیلوس همراه با گوگرد) و شاهد (بدون هیچ‌گونه کودی) بودند. صفات مورد مطالعه در این آزمایش شامل: درصد کربن آلی و نیتروژن خاک، میزان فسفر قابل جذب خاک، pH و EC خاک و درصد نیتروژن و فسفر زیست‌توده بودند. نتایج نشان داد که استفاده از کود سبز باعث افزایش درصد کربن آلی، نیتروژن خاک و میزان فسفر قابل جذب خاک و کاهش pH خاک شد. از بین تیمارهای کود سبز مورد مطالعه ماشک گل خوشه‌ای نسبت به سایرین برتر بود. همچنین، استفاده از کود نیتروژن باعث افزایش میزان فسفر قابل جذب، هدایت الکتریکی خاک و عملکرد دانه و کاهش pH خاک شد. در بین منابع تأمین‌کننده نیتروژن، تیمار کود گاوی بیشترین تأثیر را بر درصد کربن آلی، درصد نیتروژن و میزان فسفر قابل جذب خاک داشت. استفاده از کود شیمیایی (NPK) و کود گاوی نسبت به شاهد باعث افزایش ۱۶/۰۴ و ۱۰/۳۷ درصدی عملکرد دانه شد. اما نقش کاربرد کودهای زیستی به افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک محدود شد. با توجه به اثر مثبت کودهای آلی و زیستی بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک، بیشترین درصد نیتروژن زیست‌توده خرفه از تیمار مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای و تیمار تلفیق کود گاوی و میکوریزا حاصل شد. همچنین، بیشترین درصد فسفر زیست توده خرفه متعلق به تیمار تلفیق کود گاوی و میکوریزا بود.

واژه‌های کلیدی: بیوسولفور، کود گاوی، میکوریزا، نیتروکسین، ورمی‌کمپوست

مقدمه

با توجه به رشد جمعیت به‌ویژه در سال‌های اخیر، تأمین امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین چالش‌های هر کشور می‌باشد. یکی از راه‌های افزایش تولید محصولات، استفاده از منابع کودی بوده که در سال‌های اخیر به سمت مصرف کودهای شیمیایی سوق داده شده است. هرچند استفاده از کودهای شیمیایی سریع‌ترین راه برای تأمین حاصلخیزی خاک می‌باشد اما تخریب ساختمان خاک، افزایش هزینه‌های تولید و آلودگی محیط‌زیست نگران‌کننده است؛ بنابراین، کاهش کودهای شیمیایی و جایگزین نمودن آن‌ها با نهاده‌های طبیعی و درون‌مزرعه‌ای امری اجتناب‌ناپذیر است (Den Hollander *et al*., 2007).

استفاده از گیاهان خانواده بقولات به‌عنوان کود سبز در تناوب با گیاهان زراعی می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای کاهش کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنی باشد. لگوم‌ها به دلیل داشتن توانایی تثبیت نیتروژن هوا و هم‌چنین فراهم کردن شرایط برای فعالیت ریزجانداران مفید خاکزی، به‌طور گسترده‌ای در نظام‌های زراعی به‌عنوان گیاهان کود سبز مورد استفاده قرار می‌گیرند (Hooker *et al*., 2008). در تحقیقی، استفاده از کود سبز باعث افزایش درصد ماده آلی، درصد نیتروژن و درصد فسفر موجود در خاک

۱- دانشجوی دکتری، بوم‌شناسی زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانشیار، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند، بیرجند، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: rezvani@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v17i2.67458

شد (Adekiya *et al*., 2017). در تحقیقی دیگر، استفاده از مخلوط ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia panunica* L.) با جو (*Hordeum vulgare* L.) به‌عنوان کود سبز در مقایسه با شاهد (عدم کاشت گیاه) باعث افزایش عملکرد دانه نخود (*Cicer arietinum* L.) شد (Ghalavand *et al*., 2009).

کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست و کود دامی دارای قدرت بالای جذب و نگهداری آب و عناصر غذایی، تخلخل زیاد، تهویه و زهکشی مناسب در خاک بوده و استفاده از آن در کشاورزی پایدار، علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول عمل می‌نماید (Azeez *et al*., 2010). در تحقیقی که به‌منظور بررسی تأثیر کود گاوی، نیتروژن (از منبع اوره) و تلفیق آن‌ها بر روی خصوصیات شیمیایی خاک انجام گرفت بیشترین میزان کربن آلی و نیتروژن خاک از کود گاوی حاصل شد (Salehi *et al*., 2017). در تحقیقی دیگر، مصرف کود دامی موجب افزایش میزان ماده آلی، نیتروژن و فسفر خاک شد (Concepcion Ramos, 2017). در تحقیقی، استفاده از کود گاوی و ورمی‌کمپوست در مقایسه با شاهد (عدم استفاده از کود) باعث افزایش عملکرد دانه زیره سیاه (*Bunium persicum* Boiss) شد (Nourihoseini *et al*., 2016).

در سال‌های اخیر، استفاده از کودهای زیستی به‌منظور افزایش حاصلخیزی خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین راهبردهای تغذیه گیاه برای رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار مورد توجه برنامه‌ریزان امر تولید قرار گرفته است (Rezvani Moghaddam *et al*., 2014). ازجمله این کودهای زیستی می‌توان به قارچ میکوریزا و باکتری‌های ازتوباکتر، آزوسپریلوم و تیوباسیلوس اشاره کرد. نتایج مطالعه‌ای دوساله درخصوص تلقیح خاک با قارچ میکوریزا (مخلوط گونه‌های گلوموس اینترارادیسیس و گلوموس اتونیکاتوم) نشان داد که در سال اول آزمایش، تلقیح با قارچ میکوریزا باعث افزایش میزان نیتروژن کل خاک شد اما اثر آن بر میزان فسفر خاک معنی‌دار نبود. در سال دوم آزمایش، هیچ‌کدام از این صفات تحت تأثیر میکوریزا قرار نگرفت (Kohanmoo *et al*., 2015). نتایج مطالعه دیگر نشان داد که مصرف نیتروکسین باعث افزایش درصد نیتروژن و کاهش pH خاک شد اما تأثیری بر هدایت الکتریکی خاک نداشت (Jahan *et al*., 2014). همچنین در تحقیقی، مصرف بیوسولفور باعث کاهش pH خاک شد (Seyyedi *et al*., 2015). در تحقیقی دیگر، کاربرد کود زیستی نیتروکسین نسبت به شاهد (بدون مصرف کود) باعث افزایش عملکرد دانه خرفه شد (Inanloofar *et al*., 2013).

نیتروژن و فسفر مهم‌ترین عناصر حاصلخیزی خاک بوده و بخش اصلی مصرف کودهای شیمیایی را تشکیل می‌دهد. نیتروژن به دلیل آب‌شویی و تصعید و فسفر به علت کم‌تحرکی در خاک به‌طور کارآمد جذب گیاه نمی‌شوند. تحقیقات نشان داده است که مصرف کودهای آلی و به‌ویژه کودهای زیستی از طریق فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود در آن‌ها ضمن کمک به جذب بیشتر عناصر غذایی و افزایش عملکرد گیاه موجب کاهش اثرات ناگوار زیست‌محیطی مانند تثبیت و تجمع بیش‌ازحد عناصر در خاک و آلوده شدن آب‌های زیرزمینی می‌شود (Rahimzadeh *et al*., 2013). نتایج تحقیقی در ارتباط با جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) نشان داد که بیشترین میزان جذب نیتروژن و فسفر به‌ترتیب از تلقیح با نیتروکسین و تیمار ترکیبی بیوسولفور و فسفاته بارور ۲ حاصل شد (Rahimzadeh *et al*., 2013). این در حالی بود که در تحقیقی دیگر، مصرف کودهای آلی (کود گاوی و ورمی‌کمپوست) و کودهای زیستی (میکوریزا، نیتروکسین و بیوسولفور) تأثیری بر میزان جذب نیتروژن و فسفر زیست‌توده سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) نداشت (Rezvani Moghaddam *et al*., 2014). در تحقیقی، کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به شاهد (بدون مصرف کود) باعث افزایش عملکرد دانه خرفه شد (Inanloofar *et al*., 2013).

خرفه (*Portulaca oleracea* L.) گیاهی یک‌ساله و چهار کربنه از خانواده Portulacaceae است که به تنش‌های محیطی ازجمله شوری و خشکی مقاوم بوده و برای اهداف گوناگون از جمله تغذیه انسان، صنایع تبدیلی و دارویی کاربرد دارد (Kafi and Rahimi *et al*., 2010; Rahimi *et al*., 2011; Rahimi). کشت گیاهان دارویی بر پایه کشاورزی پایدار، کیفیت آن‌ها را تضمین کرده و احتمال اثرات منفی کاربرد نهاده‌های شیمیایی روی کیفیت دارویی این گیاهان را کاهش می‌دهد (Rahimzadeh *et al*., 2013).

با توجه به اینکه ایران از اقلیم خشک و نیمه‌خشک برخوردار بوده و خاک‌های آن اغلب با کمبود مواد آلی (کمتر از یک درصد) مواجه هستند و از طرف دیگر آهکی بودن این خاک‌ها مانع از جذب عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌تحرکی مانند فسفر می‌شوند (Rahimzadeh *et al*., 2013). بنابراین، جایگزین نمودن کودهای آلی و بیولوژیک با کودهای شیمیایی و یا کاربرد تلفیقی آن‌ها، ضمن آزادسازی تدریجی عناصر غذایی مطابق با نیاز گیاه (Rezvani Moghaddam and Seyyedi, 2014) و افزایش کارایی نهاده‌ها از طریق توسعه ریشه گیاه، جذب بیشتر آب و عناصر غذایی و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (Ebrahimian *et al*., 2017) باعث پایداری نظام کشاورزی در درازمدت می‌شود.

با توجه به اطلاعات اندک در مورد مدیریت تغذیه‌ای گیاهان دارویی و در راستای افزایش حاصلخیزی خاک و لزوم توجه به کاهش مصرف کودهای شیمیایی و جذب مناسب عناصر غذایی توسط گیاه، این پژوهش با هدف تأثیر مدیریت حاصلخیزی بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و جذب عناصر نیتروژن و فسفر توسط زیست‌توده خرفه در شهرستان بیرجند به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش‌ها در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا به اجرا درآمد. محل آزمایش از نظر اقلیمی بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه جزء مناطق خشک است. میانگین بارندگی ۳۰ ساله این منطقه ۱۵۲/۲ میلی‌متر، حداکثر مطلق دما ۴۲/۶، حداقل مطلق دما ۲۱/۵- و متوسط دمای ماهیانه ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد است. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در دو سال زراعی مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در دو سال مورد مطالعه
Table 1- Results of soil analysis at 0-30 cm depth in two years studied

سال زراعی Crop year	بافت خاک Texture	هدایت الکتریکی EC (dS. m^{-1})	اسیدیته pH	مواد آلی OM (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg.kg^{-1})	پتاسیم K (mg.kg^{-1})
۹۴-۱۳۹۳ 2013-2014	لوم رسی Loam- clay	2.89	7.14	0.46	0.147	5.4	276
۹۵-۱۳۹۴ 2015-2016	لوم Loam	7.30	7.60	0.70	0.073	12.4	297

آزمایش اول، به‌صورت طرح کرت‌های خردشده (اسپلیت‌پلات) در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل کود سبز: شاهد (بدون کود سبز)، ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.)، منداب (*Eruca sativa* L.) و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای و عامل فرعی شامل کود نیتروژن به‌صورت خالص در سه سطح شامل صفر (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود.

در این تحقیق اندازه هر کرت ۴×۳ متر (۱۲ مترمربع)، فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۵ متر، فاصله بین کرت‌های اصلی سه متر و فاصله بین بلوک‌ها سه متر در نظر گرفته شد. در اوایل آبان ماه آماده‌سازی زمین صورت گرفت. کاشت منداب و ماشک گل خوشه‌ای در سال اول آزمایش در ۲۰ آبان ماه ۱۳۹۳ و در سال دوم آزمایش در پنجم آبان ماه ۱۳۹۴ با دست به‌صورت خشکه‌کاری و کرتی انجام گرفت. با توجه به سرمازدگی اندک منداب و ماشک گل خوشه‌ای در سال اول آزمایش، کاشت این گیاهان در سال بعد زودتر انجام شد. میزان بذر مصرفی برای منداب ۲۰ کیلوگرم در هکتار (وزن هزار دانه ۳ گرم)، برای ماشک گل خوشه‌ای ۱۳۵ کیلوگرم در هکتار (وزن هزار دانه ۵۴ گرم) و مخلوط دو گیاه منداب و ماشک گل خوشه‌ای به‌ترتیب ۱۰ و ۶۷/۵ کیلوگرم در نظر گرفته شد. پس از تکمیل دوره رویشی و قبل از ورود به دوره زایشی، اندام‌های هوایی منداب (سال اول آزمایش: در تاریخ ۲۸ اسفند ۱۳۹۳ و سال دوم آزمایش: در تاریخ ۲۷ اسفند ۱۳۹۴) و ماشک گل خوشه‌ای (سال اول آزمایش: ۱۰ فروردین ۱۳۹۴ و سال دوم آزمایش: ۲۵ فروردین ۱۳۹۵) با تیلر به زمین برگردانده شد.

آزمایش دوم، به‌صورت طرح فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش بر اساس ترکیبی از چهار منبع تأمین‌کننده نیتروژن شامل: کود دامی، ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی (NPK) و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی) و نیز چهار نوع کود زیستی شامل: نیتروکسین (شامل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم)، میکوریزا (گلوموس اینترادیسیس)، بیوسولفور (شامل تیوباسیلوس)+ گوگرد و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی) بودند. در این تحقیق اندازه هر کرت ۴×۳ متر (۱۲ مترمربع)، فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر و فاصله بین بلوک‌ها سه متر در نظر گرفته شد.

در آزمایش دوم، بر اساس نیاز گیاه خرفه و آزمون خاک، کود NPK (با مقادیر خالص ۵۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) اعمال شد. کودهای فسفر (از منبع سوپر فسفات تریپل) و پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم)، یک روز قبل از کاشت در سطح کرت‌های مورد نظر پخش و با خاک مخلوط شده و کود شیمیایی نیتروژن (از منبع اوره) نیز به‌صورت سرک در دو مرحله، نیمی در ابتدای کاشت، هم‌زمان با کاربرد کودهای دیگر و نیمی دیگر پس از پایان چین اول خرفه و شروع چین دوم به‌صورت سرک به خاک اضافه شد. با توجه به اینکه هر یک از کرت‌های آزمایش باید از میزان نیتروژن مساوی از منابع آلی و شیمیایی برخوردار باشند لذا مقادیر کود دامی و ورمی‌کمپوست بر اساس مقدار نیتروژن توصیه‌شده (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) برآورد و اعمال شد. با توجه به اینکه از کل عناصر موجود در کود دامی مقدار ۵۰ درصد در سال اول آزاد می‌شود، مقدار به‌دست آمده برای کود دامی دو برابر مقادیر نیتروژن توصیه‌شده در نظر گرفته شد (Rezvani Moghaddam *et al.*, 2014). نتایج حاصل از آنالیز کود دامی و ورمی‌کمپوست به تفکیک دو سال آزمایش در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه کود گاوی و ورمی‌کمپوست در دو سال زراعی مورد مطالعه
Table 2- Analysis of cow manure and vermicompost studied in two crop year

سال زراعی Crop year	نوع کود Type of fertilizer	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	اسیدیته pH	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)	کربن به نیتروژن (C/N)
۱۳۹۳-۹۴	ورمی‌کمپوست Vermicompost	6.70	7.52	17.7	1.54	0.71	0.28	11.49
2014-2015	کود گاوی Cow manure	4.56	7.95	6.78	0.59	0.50	0.32	11.49
۱۳۹۴-۹۵	ورمی‌کمپوست Vermicompost	7.78	7.70	7.70	0.78	0.32	0.38	9.87
2015-2016	کود گاوی Cow manure	8.26	7.40	7.10	0.60	0.28	0.51	11.83

بر اساس محتوی نیتروژن کود دامی (گاوی) و ورمی‌کمپوست (جدول ۲) میزان کود مورد استفاده در سال اول آزمایش برای کود دامی و ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۳۳۸۹۸/۳ و ۶۴۹۳/۵ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم آزمایش ۳۳۳۳۳/۳ و ۱۲۸۲۰/۵۱ کیلوگرم در هکتار برآورد شد.

جهت تلقیح بذرهای خرفه با میکوریزا از خاک حاوی سویه گلوموس اینترادیسیس استفاده شد که هم‌زمان با کاشت به‌صورت دولایه تلقیح با خاک حاوی میکوریزا در بالا و پایین بذرها و به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هر کرت (۳۰۰ گرم در مترمربع) صورت پذیرفت. خاک حاوی میکوریزا سویه گلوموس اینترادیسیس از شرکت زیست‌فناوری توران واقع در پارک علم و فناوری شاهرود تهیه شد. اعمال کود نیتروکسین (حاوی باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلوم) در یک مرحله به‌صورت تلقیح با بذور قبل از کاشت (بذر مال) به میزان ۰/۵ لیتر به‌ازای هر هشت کیلوگرم بذر در هکتار (بر اساس توصیه کودی شرکت زیستی مهر آسیا) انجام شد. البته با توجه به عدم درج نام خرفه در لیست توصیه‌های کودی این شرکت، از گیاهان نزدیک به آن (کلزا) استفاده شد. تلقیح بذور با نیتروکسین در سایه و دور از تابش مستقیم آفتاب انجام و کرت‌ها بلافاصله آبیاری شدند. هم‌چنین اعمال کود بیوسولفور (حاوی تیوباسیلوس) به همراه مصرف گوگرد بنتونیت‌دار در یک مرحله و به‌صورت تلقیح با بذور به میزان ۶ کیلوگرم بیوسولفور به‌ازای هر هکتار و ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار (بر اساس توصیه کودی شرکت زیستی مهر آسیا) انجام شد.

جهت کاشت بذر خرفه از بذور اصلاح شده با تیپ رشدی عمودی استفاده شد. عملیات کاشت خرفه در هر دو آزمایش هم‌زمان و در سال اول، ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۴ و در سال دوم، ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۵ با دست و به‌صورت خشکه‌کاری در کرت‌های مذکور انجام شد. در این آزمایش فاصله بین ردیف ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته ۱۵ سانتی‌متر (تراکم ۱۶۶۶۶۶/۶ بوته در هکتار) در نظر گرفته شد (Javadi *et al.*, 2017). جهت دستیابی به تراکم فوق، ابتدا بذور با تراکم بالا کشت شد، سپس با عمل تنک کردن در دو مرحله شش و هشت برگی، تراکم مورد نظر حاصل شد. در آزمایش اول، مصرف کود نیتروژن بر اساس تجزیه خاک انجام گرفت. کود نیتروژن بر اساس تیمار مورد مطالعه از منبع اوره در دو مرحله (یک‌دوم قبل از کاشت و در اوایل بهار، یک‌دوم پس از چین اول) به‌صورت سرک در اختیار گیاه قرار گرفت. عملیات مبارزه با علف‌های هرز طی سه نوبت با دست انجام پذیرفت. در طی فصل رشد این گیاه دو چین برداشت (چین اول در سال اول آزمایش در تاریخ ۹۴/۴/۲۸ و در سال دوم آزمایش در تاریخ ۹۵/۵/۱۸، چین دوم در سال اول آزمایش در تاریخ ۹۴/۶/۲۶ و در سال دوم آزمایش در تاریخ ۹۵/۷/۱۰) شد. جهت تعیین عملکرد دانه پس از حذف ردیف‌های کناری و ۰/۵ متر ابتدا و انتهای هر کرت در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن ۷۰ درصد کپسول‌ها) برداشت صورت پذیرفت. بوته‌ها پس از برداشت به مدت چند روز در هوای آزاد قرارگرفته سپس اقدام به جدا کردن دانه‌ها و جمع‌آوری و توزین آن‌ها شده و عملکرد دانه محاسبه شد. جهت تعیین درصد نیتروژن و فسفر موجود در زیست‌توده خرفه، نمونه‌ها به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن ۷۰ درصد کپسول‌ها) برداشت شدند. سپس نمونه‌ها در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۷۲ ساعت خشک و توسط آسیاب پودر شدند. جهت تعیین درصد نیتروژن بافت گیاه، ابتدا نمونه‌های آسیاب شده با استفاده از اسیدسولفوریک و کاتالیزور هضم و سپس مقدار نیتروژن در عصاره حاصل توسط روش کجلدال (Bremner and Mulvaney, 1965) اندازه‌گیری شد. همچنین، درصد فسفر بافت گیاه به روش مورفی و رایلی (Morphy and Riley, 1962) اندازه‌گیری شد.

نمونه‌برداری از خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری و از سه مکان در هر کرت انجام‌شده و باهم مخلوط شدند. نمونه‌های خاک در هوای آزاد قرار داده شده و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده

شدند. میزان کربن آلی خاک به روش والکی و بلک از طریق اکسید کربن آلی خاک در مجاورت دی‌کرومات پتاسیم و اسید غلیظ و سپس عیارسنجی با محلول سولفات فرو آمونیوم اندازه‌گیری شد (Walkly and Black, 1934). نیتروژن کل با استفاده از روش کجلدال (Bremner and Mulvaney, 1965) و فسفر قابل جذب با استفاده از روش اولسن (Olsen *et al.*, 1954) اندازه‌گیری شدند. میزان اسیدیته خاک، بر روی گل اشباع از طریق دستگاه pH متر و هدایت الکتریکی بر روی عصاره اشباع خاک از طریق دستگاه EC متر تعیین شد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه مرکب آماری با استفاده از نرم‌افزار Minitab 17 انجام پذیرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

درصد کربن آلی و نیتروژن خاک

در آزمایش اول، نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر کود سبز و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر درصد کربن آلی و نیتروژن خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما اثر نیتروژن و سایر اثرات دوگانه و سه‌گانه بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از کود سبز نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) باعث افزایش درصد کربن آلی و نیتروژن خاک شد. بیشترین کربن آلی (۰/۹ درصد) و نیتروژن خاک (۰/۰۸۶ درصد) از تیمار استفاده از ماشک گل خوشه‌ای حاصل شد و تیمار منداب و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای پس از آن در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴). نتایج برخی مطالعات به تأثیر مثبت کاربرد کود سبز بر کربن آلی و نیتروژن خاک اشاره کردند (Dabighi *et al.*, 2016; Adekiya *et al.*, 2017). در تحقیقی، استفاده از کودهای سبز منداب به دلیل زیست‌توده بالا و خلر به علت تثبیت نیتروژن به روش همزیستی باعث افزایش ماده آلی خاک شد (Poorhasankhani Dowlatabad *et al.*, 2015). نتایج مطالعه‌ای حاکی از افزایش نیتروژن خاک در اثر کاربرد خلر و شبدر ایرانی به‌عنوان کود سبز بود (Jahan *et al.*, 2014). لگوم‌ها به دلیل داشتن توانایی تثبیت نیتروژن هوا و فراهم کردن شرایط برای فعالیت ریز جانداران مفید خاکزی، به‌طور گسترده‌ای در نظام‌های زراعی به‌عنوان کود سبز مورد استفاده قرار می‌گیرند (Hooker *et al.*, 2008).

نتایج مقایسه میانگین اثرمتقابل کود سبز و نیتروژن بر درصد کربن آلی و نیتروژن خاک نشان داد که در شاهد (عدم مصرف کود) با افزایش نیتروژن تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار درصد کربن آلی و نیتروژن خاک کاهش یافت. در تیمار منداب، افزایش نیتروژن باعث کاهش درصد کربن آلی و نیتروژن خاک شد. این در حالی بود که با افزایش نیتروژن در تیمار ماشک گل خوشه‌ای درصد کربن آلی و نیتروژن خاک افزایش یافت. در تیمار مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای افزایش نیتروژن تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش درصد کربن آلی و نیتروژن خاک شد (جدول ۵). نتایج تحقیقی حاکی از آن بود که با افزایش نیتروژن و در تیمار حفظ بقایا در مقایسه با تیمار برداشت بقایا، کربن آلی خاک افزایش یافت (Mirzashahi *et al.*, 2016). نقش زیست‌توده میکروبی خاک در تغییر مواد آلی خاک مسلم است. به‌طوری‌که گردش و معدنی شدن پیش ماده‌های آلی اغلب ناشی از زیست‌توده میکروبی خاک است (Rathke *et al.*, 2005). مطالعات برخی محققان حاکی از رفتار نامنظم کربن زیست‌توده میکروبی در اثر استفاده از کودهای شیمیایی می‌باشد (Yevdokimov *et al.*, 2008). به‌طوری‌که کاربرد کودها در شرایط محدودیت عناصر غذایی اثر محرک بر رشد میکروبی خاک داشته (Hoyle *et al.*, 2006) و از طرفی دیگر مقادیر زیاد کود نیتروژن به تنش اسمزی و مرگ سلولی ریزجانداران حساس منجر شده و قابلیت استفاده از منابع کربنی از مواد آلی (سلولز و لیگنین) خاک به دلیل غیرفعال شدن آنزیم لیگنیناز را افزایش می‌دهد (Yevdokimov *et al.*, 2008).

در آزمایش دوم، نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر منابع آلی و شیمیایی و اثرمتقابل منابع آلی، شیمیایی و زیستی بر درصد کربن و نیتروژن خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما اثر کود زیستی و سایر اثرات دوگانه و سه‌گانه بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از کود گاوی میزان کربن آلی و نیتروژن خاک را نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) به‌ترتیب ۱۵ و ۱۱/۳۹ درصد افزایش داد، اما تفاوت آماری معنی‌داری بین سایر تیمارهای مورد مطالعه مشاهده نشد (جدول ۷). نتایج برخی تحقیقات حاکی از تأثیر مصرف کود دامی بر افزایش درصد کربن و نیتروژن خاک می‌باشد (Salehi *et al.*, 2017). در این پژوهش، به جهت همسان‌سازی میزان نیتروژن کودهای شیمیایی و آلی مورد مطالعه و توجه به این نکته که کود گاوی در سال اول ۵۰ درصد نیتروژن را آزاد می‌نماید، میزان کود گاوی اضافه‌شده به خاک دو برابر میزان کودهای ورمی‌کمپوست و شیمیایی بود (Rezvani Moghaddam *et al.*, 2014). بنابراین انتظار می‌رفت میزان کربن آلی موجود در خاک در تیمار کود گاوی بیشتر از سایرین باشد.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (مربعات میانگین) تأثیر کود سبز و نیتروژن بر خصوصیات شیمیایی خاک، جذب نیتروژن زیست توده و عملکرد دانه خرفه

Table 3- Combined variance analysis (mean squares) effect of green manure and nitrogen on soil chemical properties, biomass N adsorption and grain yield Purslane

منابع تغییرات	S. O.V	درجه آزادی d.f	درصد کربن خاک Soil organic carbon percentage	درصد نیتروژن خاک Nitrogen percentage of soil	فسفر قابل جذب خاک Phosphorus absorbable in soil	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	درصد نیتروژن زیست‌توده Percentage of nitrogen biomass	عملکرد دانه Grain yield
سال	Year (Y)	1	0.06^{*}	0.0002^{*}	119.6^{**}	10.12^{**}	12.73^{**}	0.17^{**}	2173186^{**}
تکرار (سال)	Rep (Y)	4	0.00003	0.00001	26.49	0.008	0.37	0.009	47538
کود سبز	Green manure (A)	3	0.14^{**}	0.0006^{**}	32.41^{**}	0.74^{**}	0.02^{ns}	0.11^{**}	78041^{ns}
سال × کود سبز	Y×A	3	0.007^{ns}	0.00003^{ns}	1.30^{ns}	0.69^{**}	0.002^{ns}	0.09^{**}	83010^{ns}
خطای اصلی	E_a	12	0.015	0.00006	1.33	0.006	0.07	0.006	148203
نیتروژن	Nitrogen (B)	2	0.014^{ns}	0.00006^{ns}	6.05^{**}	0.007^{**}	0.14^{**}	0.029^{ns}	203927^{**}
سال × نیتروژن	Y×B	2	0.00003^{ns}	0.000001^{ns}	0.25^{ns}	0.00001^{ns}	0.005^{ns}	0.003^{ns}	16241^{ns}
کود سبز × نیتروژن	A×B	6	0.092^{**}	0.0004^{**}	6.71^{**}	0.004^{**}	0.17^{**}	0.13^{**}	111751^{*}
سال × کود سبز × نیتروژن	Y×A×B	6	0.00005^{ns}	0.00001^{ns}	0.25^{ns}	0.00001^{ns}	0.007^{ns}	0.004^{ns}	41618^{ns}
خطای فرعی	E_b	32	0.0095	0.00004	0.74	0.0003	0.01	0.012	35231
ضریب تغییرات	CV (%)		12.22	8.24	13.19	0.22	6.19	10.01	13.24

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

**,* and ^{ns} are significant at 1 and 5% probability levels and non-significant, respectively

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر کود سبز بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و جذب نیتروژن توسط خرفه

Table 4- Comparison of the effect of green manure on some chemical properties of soil and N uptake by Purslane

کود سبز Green manure	کربن آلی خاک Soil organic carbon (%)	نیتروژن خاک Soil Nitrogen (%)	فسفر قابل جذب خاک Phosphorus absorbable in soil ($mg.kg^{-1}$)	اسیدیته pH	نیتروژن زیست‌توده Biomass Nitrogen (%)
شاهد (عدم مصرف کود) Control	0.69 c	0.072 c	5.22 c	7.95 a	1.11 bc
منداب *Eruca sativa*	0.78 b	0.078 b	6.04 b	7.54 b	1.13 b
ماشک گل خوشه‌ای *Vicia villosa*	0.90 a	0.086 a	8.38 a	7.55 b	1.04 c
مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای *Eruca sativa + Vicia villosa*	0.81 b	0.080 b	6.50 b	7.53 c	1.24 a
LSD 5%	0.08	0.005	0.83	0.056	0.056

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter in each column are not significantly different based on LSD test ($p \leq 0.05$).

نتایج مقایسه میانگین اثرمتقابل منابع آلی، شیمیایی و زیستی نشان داد که استفاده از کودهای زیستی نیتروکسین، میکوریزا و بیوسولفور در تلفیق با ورمی‌کمپوست و همچنین، استفاده از کود زیستی بیوسولفور در تلفیق با کود شیمیایی NPK باعث افزایش درصد کربن و نیتروژن خاک شد، اما در سایر موارد تأثیر کودهای زیستی به‌تنهایی و یا همراه با کود گاوی و NPK با کاهش این صفات همراه بود (جدول ۸). در تحقیقی استفاده تلفیقی از کودهای آلی و زیستی (Mohiti *et al.*, 2011) و در مطالعه‌ای دیگر، کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی موجب افزایش درصد کربن آلی و نیتروژن خاک شد (Ebrahimpour *et al.*, 2012). منبع تأمین انرژی میکروارگانیسم‌ها، کربن آلی موجود در خاک است (Mohiti *et al.*, 2011). بنابراین، به نظر می‌رسد کودهای زیستی از طریق تولید هورمون و تشدید فعالیت میکروارگانیسم‌ها موجب تسریع در تجزیه کربن آلی خاک و کاهش آن شده باشند. نتایج تحقیقی، نشان داد که همبستگی نزدیکی بین مقدار ماده آلی خاک و میزان نیتروژن وجود دارد (Jahan *et al.*, 2014). بنابراین تغییرات ماده آلی بر درصد نیتروژن خاک تأثیرگذار است.

میزان فسفر قابل جذب خاک

در آزمایش اول، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر کود سبز، نیتروژن و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر میزان فسفر قابل جذب خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما سایر اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین در خصوص تأثیر کود سبز بر میزان فسفر قابل جذب خاک نشان داد که استفاده از کود سبز باعث افزایش فسفر قابل جذب خاک شد. به‌طوری‌که استفاده از تیمارهای ماشک گل خوشه‌ای، مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای و منداب به‌ترتیب باعث افزایش ۶۰/۵۳، ۲۴/۵۲ و ۱۵/۷ درصدی فسفر قابل جذب خاک نسبت به شاهد شد (جدول ۴). نتایج مطالعه محققان متعددی حاکی از افزایش میزان فسفر خاک در اثر مصرف کود سبز می‌باشد (Silva Carvalho, 2015; Mirzashahi *et al.*, 2016; Adekiya *et al.*, 2017; Trupiano *et al.*, 2017). در تحقیقی به اثر مثبت گیاهان لگوم به‌عنوان کود سبز در افزایش میزان فسفر خاک اشاره شده است (Dabighi *et al.*, 2016). با افزایش سطوح نیتروژن میزان فسفر قابل جذب خاک افزایش یافت (جدول ۹). نتایج برخی محققان حاکی از تأثیر مثبت مصرف نیتروژن بر میزان فسفر قابل جذب خاک است (Mirzashahi *et al.*, 2016; Adekiya *et al.*, 2017). به نظر می‌رسد افزایش نیتروژن از طریق کاهش pH خاک (جدول ۹) باعث افزایش حلالیت فسفر و افزایش آن در خاک شده باشد.

نتایج مقایسه میانگین اثرمتقابل نشان داد که افزایش سطوح نیتروژن در تیمار شاهد و ماشک گل خوشه‌ای موجب افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک شد. این در حالی بود که افزایش نیتروژن در تیمارهای منداب و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای میزان فسفر قابل جذب خاک را کاهش داد (جدول ۵). در این پژوهش، استفاده از ماشک گل خوشه‌ای به همراه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن باعث افزایش ۲/۴۷ برابری فسفر قابل جذب خاک در مقایسه با شاهد (عدم مصرف کود) شد (جدول ۵). نتایج مطالعه‌ای حاکی از این بود که برگشت بقایای گیاهی همراه با کاربرد نیتروژن باعث افزایش فسفر قابل‌دسترس خاک می‌شود (Mirzashahi *et al.*, 2016).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرمتقابل کود سبز و نیتروژن بر خصوصیات شیمیایی خاک، جذب نیتروژن و عملکرد دانه خرفه

Table 5- Comparison of intraction between green manure and nitrogen on soil chemical properties, N adsorption and grain yield Purslane

کود سبز Green manure	سطوح کود نیتروژن Nitrogen fertilizer levels (kg. ha^{-1})	کربن آلی خاک Soil organic carbon (%)	نیتروژن خاک Soil Nitrogen (%)	فسفر قابل جذب خاک Phosphorus absorbable in soil (mg.kg^{-1})	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS. m^{-1})	نیتروژن زیست‌توده Biomass Nitrogen (%)	عملکرد دانه Grain yield (kg. ha^{-1})
شاهد (عدم مصرف کود) Control	0	0.80 cd	0.079 cd	4.23 e	7.95 a	1.84 e	0.95 d	1256.68 c
	50	0.47 e	0.057 e	5.96 d	7.95 a	2.16 abc	1.08 cd	1361.37 bc
	100	0.79 cd	0.079 cd	5.46 d	7.95 a	2.22 abc	1.30 a	1350.94 bc
منداب *Eruca sativa*	0	0.81 bcd	0.080 bcd	6.43 cd	7.59 b	1.91 e	1.23 ab	1345.67 bc
	50	0.77 d	0.078 d	5.73 d	7.52 d	2.30 a	1.03 cd	1456.43 bc
	100	0.74 d	0.075 d	5.96 d	7.52 d	2.12 bc	1.14 bc	1505.35 b
ماشک گل خوشه‌ای *Vicia villosa*	0	0.85 bcd	0.083 bcd	7.21 bc	7.55 c	2.25 ab	0.99 d	1322.83 bc
	50	0.90 abc	0.086 abc	7.48 b	7.55 c	2.08 cd	0.99 d	1309.87 bc
	100	0.96 a	0.090 a	10.46 a	7.55 c	2.15 abc	1.16 bc	1798.94 a
مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای *Eruca sativa* + *Vicia villosa*	0	0.76 d	0.077 d	7.00 bc	7.55 c	2.13 bc	1.36 a	1382.98 bc
	50	0.92 ab	0.088 ab	6.25 cd	7.55 c	1.93 de	1.29 a	1433.44 bc
	100	0.76 d	0.077 d	6.25 cd	7.48 e	2.25 ab	1.08 cd	1476.05 bc
LSD 5%		0.11	0.007	1.01	0.02	0.11	0.12	220.7

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter in each column are not significantly different based on LSD test ($p \leq 0.05$).

جدول ٦- تجزیه واریانس مرکب (مربعات میانگین) تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر خصوصیات شیمیایی خاک، جذب نیتروژن، فسفر و عملکرد دانه خرفه

Table 6- Combined variance analysis (mean squares) effect of organic, inorganic and bio-fertilizer on soil chemical properties, N, P adsorption and grain yield Purslane

منابع تغییرات	S. O.V	درجه آزادی d.f	درصد کربن خاک Soil organic carbon percentage	درصد نیتروژن خاک Nitrogen percentage of soil	فسفر قابل جذب خاک Phosphorus absorbable in soil	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	درصد نیتروژن زیست‌توده Percentage of nitrogen biomass	درصد فسفر زیست‌توده Percentage of phosphorus biomas	عملکرد دانه Grain yield
سال	Year (Y)	1	0.001^{ns}	0.000008^{ns}	0.14^{ns}	0.15**	0.01^{ns}	0.017^{ns}	0.0009^{ns}	126722^{ns}
تکرار (سال)	Rep (Y)	4	0.002	0.00000013	0.35	0.05	3.01	0.25	0.0009	369229
منابع آلی و شیمیایی	Inorganic and Organic Sources (A)	3	0.097**	0.00043**	24.57*	0.01**	0.19^{ns}	0.15*	0.264**	491639**
سال × منابع آلی و شیمیایی	Y×A	3	0.00002^{ns}	0.00001^{ns}	0.0006^{ns}	0.0001^{ns}	0.0001^{ns}	0.000001^{ns}	0.0002^{ns}	181512^{ns}
کود زیستی	Biofertilizer (B)	3	0.00091^{ns}	0.000004^{ns}	21.91*	0.01**	0.08^{ns}	0.120^{ns}	0.0039**	48424^{ns}
سال × کود زیستی	Y×B	3	0.00001^{ns}	0.000001^{ns}	0.0006^{ns}	0.00001^{ns}	0.001^{ns}	0.00001^{ns}	0.0001^{ns}	415623^{ns}
منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی	A×B	9	0.01**	0.000062**	25.62**	0.003**	0.39**	0.459**	0.0117**	172843^{ns}
سال × منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی	Y×A×B	9	0.00001^{ns}	0.00001^{ns}	0.0006^{ns}	0.00001^{ns}	0.001^{ns}	0.00004^{ns}	0.0001^{ns}	390653^{ns}
خطای اصلی	E_a	60	0.002	0.000011	6.03	0.001	0.1	0.048	0.00089	112636
ضریب تغییرات	CV (%)		5.97	4.05	31.74	0.45	14.18	16.59	9.55	18.82

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

**,* and ^{ns} are significant at 1 and 5% probability levels and non-significant, respectively

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر کودهای آلی و شیمیایی بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک، جذب نیتروژن، فسفر و عملکرد دانه خرفه

Table 7- Comparison of the effect of organic and inorganic on some chemical properties of soil, N, P uptake and grain yield Purslane

منابع کود آلی و شیمیایی Inorganic and Organic Sources	درصد کربن خاک Soil organic carbon percentage	درصد نیتروژن خاک Nitrogen percentage of soil	فسفر قابل جذب خاک phosphorus absorbable in soil (mg.kg^{-1})	اسیدیته pH	درصد نیتروژن زیست‌توده Percentage of nitrogen biomass	درصد فسفر زیست‌توده Percentage of phosphorus biomass	عملکرد دانه Grain yield (kg. ha^{-1})
شاهد (عدم مصرف کود) Control	0.80 b	0.079 b	6.91 b	7.94 a	1.30 b	0.20 d	1644.88 b
کود گاوی Cow manure	0.92 a	0.088 a	8.25 ab	7.92 b	1.30 b	0.36 b	1835.36 ab
ورمی‌کمپوست Vermicompost	0.80 b	0.079 b	6.86 b	7.88 c	1.24 b	0.24 c	1690.50 b
کود شیمیایی NPK	0.79 b	0.079 b	8.90 a	7.91 b	1.43 a	0.43 a	1959.29 a
LSD 5%	0.02	0.001	1.41	0.01	0.12	0.01	193.8

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter in each column are not significantly different based on LSD test ($p \leq 0.05$).

در آزمایش دوم، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر منابع آلی و شیمیایی و اثر کود زیستی در سطح احتمال پنج درصد و اثر متقابل منابع آلی، شیمیایی و زیستی بر درصد فسفر قابل جذب خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما سایر اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از کود شیمیایی NPK و کود گاوی میزان فسفر قابل جذب خاک را به‌ترتیب ۲۸/۷۹ و ۱۹/۳۹ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) افزایش داد. این در حالی بود که تفاوت آماری معنی‌داری بین استفاده از ورمی‌کمپوست و شاهد وجود نداشت (جدول ۷). نتایج مطالعات متعددی حاکی از افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک در اثر کاربرد کود شیمیایی NPK می‌باشد (Mirzashahi *et al*., 2016; Mohiti *et al*., 2011; Adekiya *et al*., 2017). در این پژوهش، به جهت همسان‌سازی میزان نیتروژن کودهای شیمیایی و آلی مورد مطالعه و توجه به این نکته که کود گاوی در سال اول ۵۰ درصد نیتروژن را آزاد می‌نماید، میزان کود گاوی اضافه‌شده به خاک دو برابر میزان کودهای ورمی‌کمپوست و شیمیایی بود (Rezvani Moghaddam *et al*., 2014). بنابراین، براساس درصد فسفر موجود در کود گاوی و ورمی‌کمپوست (جدول ۲) میانگین دوساله میزان فسفر اضافه‌شده به خاک (با احتساب فسفر اولیه موجود در خاک) توسط کود شیمیایی NPK، کود گاوی و ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۱۵۰/۳۵، ۱۳۱/۷۶ و ۴۳/۹۱ کیلوگرم در هکتار بود. درنتیجه، انتظار می‌رود با توجه به آزادسازی سریع‌تر عناصر غذایی توسط کودهای شیمیایی نسبت به کودهای آلی و میزان فسفر افزوده شده به خاک توسط تیمارهای کودی مورد مطالعه، مصرف کود شیمیایی NPK و پس از آن تیمار کود گاوی نسبت به سایرین میزان فسفر بیشتری به خاک اضافه نماید.

استفاده از کودهای زیستی مورد مطالعه باعث افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک شد (جدول ۱۰). نتایج مطالعات برخی محققان به افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک در اثر مصرف کود زیستی اشاره دارد (Ebrahimpour *et al*., 2012; Seyyedi *et al*., 2015). به نظر می‌رسد کودهای زیستی از طریق تولید هورمون و کاهش pH خاک و افزایش حلالیت فسفر موجب افزایش آن در خاک شده باشد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و کود زیستی نشان داد که استفاده از کودهای زیستی به‌تنهایی و یا در تلفیق با کودهای آلی (کود گاوی و ورمی‌کمپوست) باعث افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک شد. در تیمار مصرف کود شیمیایی NPK استفاده از کود زیستی تأثیری بر میزان فسفر قابل جذب خاک نداشت، اما کود شیمیایی NPK در تلفیق با میکوریزا باعث کاهش ۱۹/۱۴ درصدی میزان فسفر قابل جذب خاک نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کود زیستی) شد (جدول ۸). در این پژوهش، بیشترین میزان فسفر قابل جذب خاک از تلفیق کود گاوی و میکوریزا با افزایش ۲/۷۳ برابری نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) حاصل شد و پس از آن استفاده از کود شیمیایی NPK در تلفیق با نیتروکسین و بیوسولفور در رتبه بعدی قرار داشت (جدول ۸). در تحقیقی، استفاده از منابع اصلاح‌کننده خاک (ترکیب ورمی‌کمپوست، تیوباسیلوس و گوگرد) باعث افزایش فسفر قابل جذب خاک شد (Seyyedi *et al*., 2015). با توجه به ویژگی‌های مثبت کودهای زیستی از جمله توانایی محلول‌سازی فسفات غیر آلی (Rezvani Moghaddam *et al*., 2014) و کاهش pH خاک (Seyyedi *et al*., 2015) و از طرفی نقش مثبت کودهای آلی در بهبود ساختمان خاک، نگهداری رطوبت خاک، فراهمی مواد غذایی به‌ویژه فسفر و افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک (Jahan *et al*.,

2014) استفاده تلفیقی از این کودها در افزایش درصد فسفر قابل جذب خاک مؤثر می‌باشد. همچنین، استفاده از کودهای شیمیایی از طریق تأثیر منفی بر فعالیت قارچ میکوریزا و کلونیزاسیون میکوریزایی موجب کاهش درصد فسفر قابل جذب خاک می‌شود (Rezvani Moghaddam and Seyyedi, 2014).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل کود آلی، شیمیایی و زیستی بر خصوصیات شیمیایی خاک، جذب نیتروژن و فسفر توسط خرفه

Table 8- Comparison of intraction between organic, inorganic and bio-fertilizer on soil chemical properties, N and P adsorption by Purslane

منابع کود آلی و شیمیایی Inorganic and Organic Sources	کود زیستی Biofertilizer		کربن آلی خاک Soil organic carbon (%)	نیتروژن خاک Soil Nitrogen (%)	فسفر قابل جذب خاک phosphorus absorbable in soil (mg.kg^{-1})	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS. m^{-1})	نیتروژن زیست‌توده Biomass Nitrogen (%)	فسفر زیست‌توده Biomass phosphorus (%)
شاهد (عدم مصرف کود) Control	Control	شاهد (عدم مصرف کود)	0.83 def	0.081 def	4.37 f	7.96 b	2.11 bcd	1.19 e	0.22 f
	Nitroxin	نیتروکسین	0.77 fgh	0.078 fgh	8.15 bcd	7.91 c	2.45 ab	1.46 cd	0.23 f
	Mycorrhiza	میکوریزا	0.81 def	0.080 def	6.56 cdef	8.00 a	2.78 a	1.34 cde	0.17 h
	Biosulfur	بیوسولفور	0.77 fgh	0.078 fgh	8.55 bc	7.91 c	2.24 bcd	1.30 de	0.18 gh
کود گاوی Cow manure	Control	شاهد (عدم مصرف کود)	0.97 a	0.091 a	7.36 bcde	7.91 c	2.15 bcd	1.18 ef	0.29 e
	Nitroxin	نیتروکسین	0.91 ab	0.087 ab	7.16 cdef	7.91 c	2.08 bcd	0.94 f	0.33 d
	Mycorrhiza	میکوریزا	0.89 bc	0.086 bc	11.94 a	7.96 b	2.08 bcd	1.76 ab	0.43 ab
	Biosulfur	بیوسولفور	0.91 ab	0.087 ab	6.56 cdef	7.91 c	2.42 abc	1.32 cde	0.37 c
ورمی کمپوست Vermicompost	Control	شاهد (عدم مصرف کود)	0.73 h	0.074 h	4.57 ef	7.86 d	2.64 a	1.23 de	0.21 fg
	Nitroxin	نیتروکسین	0.82 def	0.081 def	10.14 ab	7.91 c	2.11 bcd	1.31 cde	0.24 f
	Mycorrhiza	میکوریزا	0.85 cde	0.083 cde	5.57 def	7.91 c	1.98 d	1.13 ef	0.21 fg
	Biosulfur	بیوسولفور	0.80 def	0.080 def	7.16 cdef	7.86 d	2.25 bcd	1.29 de	0.30 de
کود شیمیایی NPK	Control	شاهد (عدم مصرف کود)	0.78 fgh	0.078 fgh	9.35 abc	7.91 c	2.17 bcd	1.56 bc	0.43 ab
	Nitroxin	نیتروکسین	0.79 efg	0.079 efg	9.35 abc	7.91 c	2.09 bcd	1.23 de	0.46 a
	Mycorrhiza	میکوریزا	0.74 gh	0.075 gh	7.56 bcd	7.91 c	2.24 bcd	1.09 ef	0.41 b
	Biosulfur	بیوسولفور	0.86 bcd	0.083 bcd	9.35 abc	7.91 c	2.43 abc	1.82 a	0.41 b
LSD 5%			0.05	0.003	2.83	0.03	0.36	0.25	0.03

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter in each column are not significantly different based on LSD test ($p \leq 0.05$).

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر کود نیتروژن بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک پس از برداشت خرفه

Table 9- Comparison of the effect of nitrogen fertilizer on some soil chemical properties after Purslane harvesting

سطوح کود نیتروژن Nitrogen fertilizer levels (kg. ha^{-1})	فسفر قابل جذب خاک Phosphorus absorbable in soil (mg.kg^{-1})	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS. m^{-1})
0	6.03 b	7.66 a	2.03 b
50	6.54 a	7.64 b	2.12 a
100	7.03 a	7.63 c	2.18 a
LSD 5%	0.5	0.008	0.07

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter in each column are not significantly different based on LSD test (p≤0.05)

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر کود زیستی بر میزان فسفر قابل جذب خاک، اسیدیته خاک و جذب فسفر توسط خرفه

Table 10- Comparison of the effect of bio-fertilizer on the amount of phosphorus available, pH and P adsorption by Purslane

کود زیستی Biofertilizer	فسفر قابل جذب خاک Phosphorus absorbable in soil (mg.kg^{-1})	اسیدیته pH	درصد فسفر زیست‌توده Percentage of phosphorus biomass
شاهد (عدم مصرف کود) Control	6.41 b	7.91 b	0.29 b
نیتروکسین Nitroxin	8.70 a	7.91 b	0.32 a
میکوریزا Mycorrhiza	7.91 a	7.94 a	0.31 a
بیوسولفور Biosulfur	7.91 a	7.89 b	0.32 a
LSD 5%	1.41	0.03	0.01

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter in each column are not significantly different based on LSD test (p≤0.05).

pH خاک

در آزمایش اول، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر کود سبز، اثر متقابل سال و کود سبز، اثر نیتروژن و اثرمتقابل کود سبز و نیتروژن بر pH خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما سایر اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین حاکی از کاهش pH خاک در اثر استفاده از کود سبز بود. به‌طوری‌که از بین کودهای سبز مورد مطالعه مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای از کمترین pH خاک برخوردار بود (جدول ۴). نتایج برخی مطالعات حاکی از کاهش pH خاک در اثر استفاده از کود سبز و یا بقایای گیاهی است (Ebrahimian *et al.*, 2017). به‌طورکلی، تولید دی‌اکسید کربن در طی فرآیند تجزیه مواد آلی (Ebrahimian *et al.*, 2017)، تجزیه ترکیبات آلی و تولید اسیدهای آلی مانند اسیدسیتریک و اسید اگزالیک در طی فرآیند تجزیه بقایای گیاهی (Ebrahimian *et al.*, 2017) از جمله عواملی است که ممکن است منجر به کاهش موضعی pH خاک شود. با افزایش سطوح نیتروژن pH خاک کاهش یافت (جدول ۹). نتایج تحقیقی نشان داد که کاربرد کودهای شیمیایی باعث اسیدی شدن خاک می‌شود (Ngo *et al.*, 2012). اضافه کردن مقدار زیادی از کودها که یون هیدروژن را به‌طور مستقیم یا پس از یکسری واکنش‌ها به خاک می‌افزایند (مانند ترکیبات اوره) باعث کاهش pH و اسیدی شدن خاک می‌شوند (Ngo *et al.*, 2012).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود سبز و نیتروژن نشان داد که افزایش سطوح نیتروژن در تیمارهای منداب و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای باعث کاهش pH خاک شد. در بین تیمارهای مورد مطالعه مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از کمترین pH خاک (۷/۴۸) برخوردار بود (جدول ۵). در این پژوهش، میانگین دوساله بیوماس منداب، ماشک گل خوشه‌ای و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای به‌ترتیب ۶/۲۷، ۱/۱ و ۷/۶۶ تن در هکتار بود. بنابراین، میزان بالای بقایای برگردانده شده به خاک و تحریک فعالیت‌های میکروبی در سطوح بالای نیتروژن موجب شد کمترین pH خاک از تیمار مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای و پس از آن تیمار منداب حاصل گردد.

در آزمایش دوم، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر منابع آلی و شیمیایی، اثر کود زیستی و اثر متقابل آن‌ها بر pH خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما سایر اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین حاکی از کاهش pH خاک در اثر استفاده از کودهای آلی و شیمیایی بود. به‌طوری‌که از بین کودهای آلی و شیمیایی مورد مطالعه ورمی‌کمپوست از کمترین pH خاک برخوردار بود (جدول ۷). نتایج برخی مطالعات حاکی از کاهش pH خاک در اثر استفاده از کودهای آلی و شیمیایی است (Ngo *et al.*, 2012; Ebrahimian *et al.*, 2017). در تحقیقی، دلیل کاهش pH خاک بعد از اضافه نمودن ورمی‌کمپوست تجزیه مواد

آلی و تولید اسیدکربنیک و اسیدهای آلی ذکر شد (Ahmad Abadi *et al*., 2012). درخصوص تأثیر کودهای زیستی بر pH خاک نتایج نشان داد که مصرف میکوریزا موجب افزایش pH خاک شد. اما نیتروکسین و بیوسولفور تأثیری بر pH خاک نداشتند (جدول ۱۰). نتایج تحقیقی نشان داد که استفاده از باکتری تیوباسیلوس به همراه گوگرد موجب کاهش pH خاک شد (Seyyedi *et al*., 2015). در تحقیقی دیگر، استفاده از قارچ میکوریزا تأثیری بر pH خاک نداشت (Gholami *et al*., 2015).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای آلی، شیمیایی و زیستی نشان داد که استفاده از کودهای زیستی نیتروکسین و بیوسولفور به‌تنهایی موجب کاهش pH خاک شد. اما استفاده از میکوریزا به‌تنهایی pH خاک را افزایش داد. استفاده از میکوریزا با کود گاوی موجب افزایش pH خاک شد. اما استفاده از نیتروکسین و بیوسولفور همراه با کود گاوی تأثیری بر pH خاک نداشت. استفاده از نیتروکسین و میکوریزا با ورمی‌کمپوست موجب افزایش pH خاک شد. اما استفاده از بیوسولفور همراه با ورمی‌کمپوست تأثیری بر pH خاک نداشت. همچنین، استفاده از کودهای زیستی به همراه کود شیمیایی NPK نتوانست تغییری در pH خاک ایجاد نماید (جدول ۸). به‌طورکلی، در خاک‌های حاوی کود گاوی، ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی مصرف کودهای زیستی تغییر چندانی در pH خاک ایجاد نکرد (جدول ۸). نتایج تحقیقی نشان داد که استفاده از تیمارهای اصلاح‌کننده خاک (ترکیب ورمی‌کمپوست، تیوباسیلوس و گوگرد) باعث کاهش pH خاک شد (Seyyedi *et al*., 2015). در تحقیقی دیگر، به کاهش pH خاک در اثر مصرف کودهای زیستی اشاره شده است (Ebrahimpour *et al*., 2012).

هدایت الکتریکی خاک

در آزمایش اول، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر نیتروژن و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر هدایت الکتریکی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اما اثر کود سبز و سایر اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). افزایش سطوح نیتروژن هدایت الکتریکی خاک را افزایش داد (جدول ۹). نتیجه به‌دست آمده با نتایج شارما و همکاران (Sharma *et al*., 2011) مطابقت داشت. به نظر می‌رسد کودهای شیمیایی از طریق افزایش میزان املاح موجود در خاک باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شده باشند.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود سبز و نیتروژن نشان داد که افزایش سطوح نیتروژن در تیمار شاهد (عدم مصرف کود) و تیمارهای کود سبز باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شد. به‌عبارت‌دیگر، استفاده از کود سبز نتوانست موجب کاهش و یا تعدیل هدایت الکتریکی خاک شود. در همین ارتباط، نتایج تحقیقی که بر روی گیاهان پوششی انجام‌شده بود حاکی از عدم تأثیر کشت گیاهان پوششی بر هدایت الکتریکی خاک بود (Jahan *et al*., 2014).

در آزمایش دوم، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل منابع کود آلی، شیمیایی و زیستی بر هدایت الکتریکی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اما اثر کود سبز، نیتروژن و سایر اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثرمتقابل کودهای آلی، شیمیایی و زیستی نشان داد که استفاده از میکوریزا و نیتروکسین به‌تنهایی موجب افزایش هدایت الکتریکی خاک شد. همچنین، استفاده از ورمی‌کمپوست نسبت به کود گاوی و کود شیمیایی NPK موجب شد هدایت الکتریکی خاک افزایش یابد. استفاده از کودهای زیستی در تلفیق با ورمی‌کمپوست تأثیر مثبت داشته و کاهش هدایت الکتریکی خاک را به دنبال داشت. استفاده از کود زیستی بیوسولفور در تلفیق با کود گاوی و کود شیمیایی NPK موجب افزایش هدایت الکتریکی خاک شد. اما استفاده از سایر کودهای زیستی در تلفیق با کود گاوی و شیمیایی بر هدایت الکتریکی خاک مؤثر نبود (جدول ۸). نتایج تحقیقی نشان داد که استفاده از ورمی‌کمپوست موجب افزایش هدایت الکتریکی خاک شد (Ahmad Abadi *et al*., 2012; Trupiano *et al*., 2017). همچنین، در خصوص تأثیر کودهای زیستی بر هدایت الکتریکی خاک برخی نتایج بیانگر افزایش آن در اثر مصرف نیتروکسین (Ebrahimpour *et al*., 2012) و برخی دیگر نشان‌دهنده عدم تأثیر آن (Jahan *et al*., 2014) می‌باشند. در مطالعه‌ای بر روی تأثیر منابع اصلاح‌کننده خاک مشخص شد که استفاده از باکتری تیوباسیلوس همراه با گوگرد و استفاده از ورمی‌کمپوست همراه با تیوباسیلوس و گوگرد موجب افزایش هدایت الکتریکی خاک شد (Seyyedi *et al*., 2015). در این پژوهش، به نظر می‌رسد استفاده از کود زیستی بیوسولفور به جهت همراه بودن با گوگرد موجب افزایش میزان املاح خاک به‌ویژه در تیمار کاربرد کود شیمیایی و افزایش هدایت الکتریکی خاک شده باشد.

درصد نیتروژن زیست‌توده

در آزمایش اول، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر کود سبز، اثرمتقابل سال و کود سبز و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر درصد نیتروژن زیست‌توده خرفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اما اثر نیتروژن و سایر اثرات متقابل معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین نیتروژن زیست‌توده از تیمار مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای (۱/۲۴ درصد) و پس از آن منداب (۱/۱۳ درصد) و کمترین آن از ماشک گل خوشه‌ای (۱/۰۴ درصد) حاصل شد (جدول ۴). عوامل محیطی از قبیل بارندگی، درجه حرارت، طول دوره رشد و حاصلخیزی خاک و تصمیمات مدیریتی از

جمله عملیات خاک‌ورزی و زمان برگرداندن گیاه پوششی به خاک می‌تواند بر مقدار نیتروژن تجمع‌یافته در گیاه پوششی و قابلیت دسترسی آن برای گیاه بعدی تأثیرگذار باشد (Dabighi *et al.*, 2016). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که برخی از گونه‌های گندمیان (Poaceae) و براسیکا (Brassicaceae) در به دام انداختن نیتروژن در پاییز و زمستان به‌خوبی عمل می‌کنند (Shamsaddin Saied *et al.*, 2017). همچنین، در تحقیقی دیگر از گیاهان پوششی غیر لگوم به‌عنوان گیاهان گیرنده نیتروژن جهت جذب نیتروژن باقیمانده در خاک برای جلوگیری از آبشویی نیترات یاد شده است (Dabighi *et al.*, 2016). در تحقیقی، از منداب به‌عنوان بهترین کود سبز به دلیل تولید زیست‌توده بالا و تجمع میزان زیادی از نیتروژن در برگ‌های آن ذکر شده است (Poorhasankhani Dowlatabad *et al.*, 2015). در این پژوهش، تیمار مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای به دلیل بیوماس بالاتر نسبت به سایر تیمارها و سهم بالاتر منداب (خانواده براسیکا و غیر لگوم) در این مخلوط، موجب افزایش نیتروژن زیست‌توده خرفه شد. تیمار ماشک گل خوشه‌ای به دلیل تأخیر در برگرداندن آن به خاک از فرصت کافی جهت آزادسازی نیتروژن برخوردار نبوده و از کمترین درصد نیتروژن زیست‌توده در خرفه برخوردار بود.

نتایج مقایسه میانگین اثرمتقابل کود سبز و نیتروژن نشان داد که افزایش سطوح نیتروژن در تیمارهای شاهد (عدم مصرف کود) و ماشک گل خوشه‌ای موجب افزایش نیتروژن زیست‌توده خرفه شد. این در حالی بود که در تیمارهای منداب و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای افزایش نیتروژن باعث کاهش نیتروژن زیست‌توده خرفه شد (جدول ۵). در تحقیقی، بیشترین نیتروژن اندام‌های هوایی کلزا از تیمار کود سبز ماش (لگوم) در ترکیب با ۵۰ درصد کود شیمیایی و نیتروکسین حاصل شد. همچنین در این تحقیق، با افزایش نیتروژن درصد نیتروژن اندام‌های هوایی کلزا افزایش یافت (Dabighi *et al.*, 2016). به نظر می‌رسد که در شاهد، افزایش سطوح نیتروژن موجب افزایش قابلیت دسترسی گیاه به نیتروژن شده باشد. همچنین، تأخیر در برگرداندن ماشک گل خوشه‌ای (به دلیل گل‌دهی دیرتر نسبت به منداب) موجب به تعویق افتادن تجزیه بقایا و آزادسازی نیتروژن هم‌زمان با نیاز گیاه شده است. بنابراین، استفاده از نیتروژن معدنی در مقادیر بالا همانند تیمار شاهد موجب افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن و افزایش درصد نیتروژن زیست‌توده در سطوح بالای نیتروژن شده است. در تیمارهای منداب و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای آزادسازی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن همگام با نیاز گیاه در طول فصل رشد خرفه انجام گرفته و افزایش بیشتر نیتروژن ممکن است از طریق مسمومیت خاک باعث کاهش قابلیت دسترسی و جذب نیتروژن و سایر عناصر غذایی شده باشد.

در آزمایش دوم، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر منابع کود آلی و شیمیایی، اثر کود زیستی و اثر متقابل منابع آلی، شیمیایی و کود زیستی بر درصد نیتروژن زیست‌توده خرفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از تیمار کود شیمیایی NPK باعث افزایش ۱۰ درصدی نیتروژن زیست‌توده خرفه نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) شد. تفاوت آماری معنی‌داری بین سایر تیمارهای مورد مطالعه و شاهد وجود نداشت (جدول ۷). در تحقیقی، استفاده از کود شیمیایی موجب افزایش نیتروژن زیست‌توده شد (Singh, 2012). به نظر می‌رسد تسریع در آزادسازی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در کودهای شیمیایی و رهاسازی تدریجی عناصر غذایی در کودهای آلی دلیل این موضوع باشد.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای آلی، شیمیایی و زیستی نشان داد که در تیمار شاهد (عدم مصرف کود) استفاده از کود زیستی مورد مطالعه باعث افزایش درصد نیتروژن زیست‌توده شد. استفاده از تیمارهای کود آلی (کود گاوی و ورمی‌کمپوست) نیز (به‌جز تلفیق کود گاوی با نیتروکسین و تلفیق ورمی‌کمپوست با میکوریزا) باعث افزایش درصد نیتروژن زیست‌توده خرفه شد. در تیمار کود شیمیایی NPK مصرف کود زیستی بیوسولفور باعث افزایش درصد نیتروژن زیست‌توده شد اما در سایر موارد این میزان کاهش یافت (جدول ۸). در این پژوهش، استفاده از تیمار کود شیمیایی NPK و بیوسولفور باعث افزایش ۵۲/۹۴ درصدی نیتروژن زیست‌توده نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) شد (جدول ۸). در تحقیقی، استفاده از تیوباسیلوس به همراه گوگرد و ترکیب ورمی‌کمپوست و تیوباسیلوس به همراه گوگرد باعث افزایش درصد نیتروژن زیست‌توده سیاهدانه شد (Seyyedi *et al.*, 2015). در تحقیقی دیگر، بیشترین میزان جذب نیتروژن توسط بادرشبو از تلقیح با نیتروکسین حاصل شد (Rahimzadeh *et al.*, 2013). به نظر می‌رسد که حضور کودهای زیستی حاوی باکتری‌ها و قارچ‌های خاص در کنار سایر میکروارگانیسم‌های خاک باعث تشدید و تسریع تجزیه ماده آلی موجود در خاک و توسعه بهتر ریشه و جذب بیشتر عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن می‌شوند. همچنین، استفاده از کودهای آلی از طریق فراهم آوردن مواد آلی لازم جهت تأمین انرژی میکروارگانیسم‌ها و از طریق نگهداری بیشتر آب موجود در خاک به توسعه و فعالیت بیشتر این موجودات کمک می‌کند. با توجه به شرایط اقلیمی و ویژگی‌های خاک‌های ایران به‌ویژه pH بالای خاک‌های آهکی، استفاده از بیوسولفور (باکتری تیوباسیلوس همراه با گوگرد) از طریق اکسیداسیون گوگرد موجب کاهش pH خاک و افزایش جذب عناصر غذایی در خاک می‌شود (Rahimzadeh *et al.*, 2013). بنابراین انتظار می‌رود

برهمکنش کود شیمیایی NPK و کود زیستی بیوسولفور از یک رابطه هم‌افزایی برخوردار باشد.

درصد فسفر زیست‌توده

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر منابع آلی و شیمیایی، اثر کود زیستی و اثر متقابل آن‌ها بر درصد فسفر زیست‌توده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اما سایر اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از کود شیمیایی NPK، کود گاوی و ورمی‌کمپوست به‌ترتیب از افزایش ۲/۱۵، ۱/۸ و ۱/۲ برابری درصد فسفر زیست‌توده نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) برخوردار بود (جدول ۷). نتیجه به‌دست آمده با نتایج سایر محققان مطابقت داشت (Rezvani Moghaddam *et al*., 2014; Seyyedi *et al*., 2015). با توجه به اینکه استفاده از کودهای آلی و شیمیایی موجب کاهش pH خاک و افزایش حلالیت فسفر شده (جدول ۷) و همچنین، میزان فسفر اضافه‌شده به خاک در تیمارهای NPK و کود گاوی بیشتر از سایرین بوده و آزادسازی عناصر توسط کودهای شیمیایی سریع‌تر است. بنابراین، بیشترین درصد فسفر زیست‌توده در تیمار کود شیمیایی NPK و سپس در تیمار کود گاوی به‌دست آمد. استفاده از کودهای زیستی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) باعث افزایش فسفر زیست‌توده شد (جدول ۱۰). در تحقیقی، استفاده از تیوباسیلوس همراه با گوگرد موجب افزایش درصد فسفر زیست‌توده شد (Seyyedi *et al*., 2015). در این پژوهش، استفاده از کودهای زیستی موجب افزایش درصد فسفر قابل جذب خاک شد (جدول ۱۰) و از طرفی استفاده از کودهای زیستی از طریق توسعه ریشه (نیتروکسین و میکوریزا) و کاهش pH خاک و افزایش حلالیت فسفر (بیوسولفور) موجب افزایش درصد فسفر زیست‌توده خرفه شدند.

نتایج اثر متقابل کودهای آلی، شیمیایی و زیستی نشان داد که استفاده از کودهای زیستی در تلفیق با کودهای آلی موجب افزایش درصد فسفر قابل جذب خاک شد. همچنین، استفاده تلفیقی از کود شیمیایی NPK و نیتروکسین موجب افزایش و کاربرد تلفیقی از کودهای میکوریزا و بیوسولفور موجب کاهش درصد فسفر زیست‌توده خرفه شد. در این پژوهش، ترکیب کود شیمیایی NPK و نیتروکسین و ترکیب کود گاوی و میکوریزا از افزایش به‌ترتیب ۲/۰۹ و ۱/۹۵ برابری نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) برخوردار بودند (جدول ۸). در تحقیقی، استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک (ورمی‌کمپوست، تیوباسیلوس و گوگرد) درصد فسفر زیست‌توده سیاهدانه را افزایش داد (Seyyedi *et al*., 2015). استفاده از کودهای آلی همراه با کودهای زیستی از طریق افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک، آزادسازی تدریجی عناصر غذایی و ایجاد شرایط مناسب جهت توسعه ریشه گیاه باعث بهبود رشد و جذب فسفر در گیاه می‌شوند (Rezvani Moghaddam *et al*., 2014). با توجه به نقش نیتروکسین و میکوریزا در توسعه و افزایش سطح جذب ریشه و همچنین افزایش فسفر قابل جذب خاک در تیمارهای ترکیب کود شیمیایی NPK و نیتروکسین و ترکیب کود گاوی و میکوریزا (جدول ۸) بیشترین درصد فسفر زیست‌توده خرفه از این تیمارها به‌دست آمد.

عملکرد دانه

در آزمایش اول، نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر نیتروژن و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر عملکرد دانه در سطح احتمال به‌ترتیب یک درصد و پنج درصد معنی‌دار بود، اما اثر کود سبز و سایر اثرات دوگانه و سه‌گانه بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر عملکرد دانه نشان داد که در تیمار شاهد (عدم مصرف کود) افزایش نیتروژن تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش ۷/۶۹ درصدی عملکرد دانه شد. با افزایش کود نیتروژن از ۵۰ به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تغییری در عملکرد دانه مشاهده نشد. در تیمار کاربرد منداب و ماشک گل‌خوشه‌ای افزایش نیتروژن از صفر به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در تیمارهای منداب و ماشک گل‌خوشه‌ای به‌ترتیب باعث افزایش ۱۰/۶ و ۲۶/۴۶ درصدی عملکرد دانه شد. افزایش نیتروژن تأثیری بر عملکرد دانه در تیمار مخلوط منداب و ماشک گل‌خوشه‌ای نداشت (جدول ۵). به عبارتی دیگر، زمانی که فقط از کود نیتروژن استفاده شد بیشترین عملکرد دانه از ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌دست آمد اما زمانی‌که از تلفیق کود سبز (منداب و ماشک گل‌خوشه‌ای) و نیتروژن استفاده شد، افزایش نیتروژن تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه را افزایش داد. به نظر می‌رسد زمانی که از کود سبز استفاده شده است مصرف نیتروژن تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار صرف رقابت میکروارگانیسم‌ها در جذب نیتروژن شده و افزایش بیشتر کود نیتروژن همراه با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی (به‌ویژه نیتروژن) توسط کود سبز علت افزایش عملکرد دانه در این تیمارها باشد. در این تحقیق، بیشترین عملکرد دانه خرفه از تیمار کاربرد منداب و ماشک گل خوشه‌ای (۱۷۹۸/۹۴ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که به علت بهبود برخی خصوصیات شیمیایی خاک از جمله درصد کربن آلی، درصد نیتروژن و فسفر قابل جذب خاک می‌باشد (جدول ۵). در تحقیقی چند ساله، کاربرد گیاهان به‌عنوان کود سبز (به‌ویژه خانواده بقولات) به همراه استفاده از کود شیمیایی نیتروژن باعث افزایش کارایی جذب این عنصر و افزایش عملکرد شد (Shah *et al*., 2011).

در آزمایش دوم، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر منابع آلی و شیمیایی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود، اما اثر کود زیستی و سایر اثرات متقابل بر این صفت

معنی‌دار نبود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر منابع آلی و شیمیایی بر عملکرد دانه نشان داد که کاربرد کود گاوی و شیمیایی (NPK) نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) باعث افزایش ۱۶/۰۴ و ۱۰/۳۷ درصدی عملکرد دانه شد اما تفاوت آماری معنی‌داری بین کود ورمی‌کمپوست و شاهد وجود نداشت (جدول ۷). در تحقیقی، کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به شاهد (بدون مصرف کود) باعث افزایش عملکرد دانه خرفه شد (Inanloofar *et al*., 2013). محققان دیگری نیز به اثرات مثبت کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد دانه اشاره نموده‌اند (Nasirzade *et al*., 2015; Ghamari *et al*., 2016). استفاده از کودهای شیمیایی به دلیل آزادسازی سریع نیتروژن (Yang *et al*., 2015) و در دسترس بودن مواد غذایی مورد نیاز گیاه در مراحل مختلف رشدی، همچنین افزایش فسفر قابل جذب خاک و درصد نیتروژن و فسفر زیست‌توده (جدول ۷) و استفاده از کودهای آلی به دلیل افزایش ماده آلی و نیتروژن خاک (جدول ۷)، بهبود ساختمان خاک و افزایش میزان نگهداری آب در خاک (Sharpley *et al*., 2004) باعث افزایش عملکرد دانه شد. با توجه به اینکه تفاوت فاحشی بین عملکرد دانه حاصل از کود گاوی و شیمیایی وجود ندارد. لذا جهت جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست و تولید پایدار دانه در گیاه دارویی خرفه پیشنهاد می‌شود تیمار کود گاوی جایگزین کود شیمیایی گردد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، نتایج دوساله این آزمایش حاکی از نقش مؤثر کودهای سبز (به‌ویژه ماشک گل خوشه‌ای) و کودهای آلی (به‌ویژه کود گاوی) بر خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد دانه خرفه بود. همچنین، نقش نیتروژن و کودهای زیستی بر خصوصیات شیمیایی خاک محدود به افزایش درصد فسفر قابل جذب خاک بود. تأثیر تلفیق کودهای سبز و نیتروژن و کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی با کودهای زیستی در اغلب موارد بر خصوصیات شیمیایی خاک بسیار اندک بود. این در حالی بود که حداکثر عملکرد دانه از تیمار تلفیقی ماشک گل‌خوشه‌ای و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن حاصل شد. به دلیل پایین بودن ماده آلی خاک در اغلب مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران به‌ویژه خراسان جنوبی، به نظر می‌رسد با مدیریت صحیح در استفاده از منابع آلی بتوان ضمن بهبود وضعیت خاک‌های این مناطق شرایط برای رشد و عملکرد گیاهان دارویی مانند خرفه را فراهم نمود.

طبق نتایج این آزمایش، به‌منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی و در راستای کشاورزی پایدار جهت جذب حداکثر میزان نیتروژن زیست‌توده خرفه تیمار مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای بدون مصرف کود نیتروژن و تیمار تلفیقی کود گاوی و میکوریزا، جهت حداکثر جذب فسفر زیست‌توده خرفه تیمار تلفیقی کود گاوی و میکوریزا و جهت تولید حداکثر عملکرد دانه تیمار ماشک گل‌خوشه‌ای و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و استفاده از تیمار کود گاوی به‌عنوان جایگزین کود شیمیایی (NPK) در منطقه بیرجند توصیه می‌شود.

References

1. Adekiya, A. O., Agbede, T. M., Aboyeji, C. M., Dunsin, O., and Ugbe, J. O. 2017. Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 16 (4): 1-6.
2. Ahmad Abadi, Z., Ghajar Sepanlou, M., and Rahimi Alashti, S. 2012. Effect of vermicompost on physical and chemical properties of soil**.** Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 15 (58): 125-137.
3. Azeez, J. O., Van Averbeke, A. B., and Okorogbona, A. O. M. 2010. Differential responses in yield of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun.) to the application of three animal manures. Bioresource Technology 101: 2499-2505.
4. Bremner, J. M., and Mulvaney, C. S. 1965. Nitrogen-total. In: Methods of Soil Analysis: part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L. (Ed). 1982. Second Edition. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin USA. Agronomy Series 9 (2): 595-622.
5. Concepción Ramos, M. 2017. Changes in soil hydrological and chemical properties of vineyard soils after composted cattle manure application. Geophysical Research Abstracts 19: 1.
6. Dabighi, K. H., Fateh, E., and Ayenehband, A. 2016. Effect of different green manure crops and nitrogen sources on grain yield, oil content and some qualitative traits of canola (*Brassica napus*) var. 401. Pajouhesh and Sazandegi 108: 95-104. (in Persian with English abstract).
7. Den Hollander, N. G., Bastiaans, L., and Kropff, M. J. 2007. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design. II. Competitive ability of several clover species. European Journal of Agronomy 26: 104-112.

8. Ebrahimian, E., Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M., Khorramdel, S., and Beheshti, A. 2017. Influence of tillage systems and wheat stubble levels on the physical, chemical and biological properties of soil. Journal of Crops Improvement 18 (4):893-905. (in Persian with English abstract).
9. Ebrahimpour, F., Eidizadeh, Kh., Mahdavi Damghani, A., and Rezvani, M. 2012. Effects of aiofertilizer application method with integrated chemical fertilizers on Maize production and some chemical characteristics of soil. Iranian Journal of Field Crops Research 10 (1): 240-246. (in Persian with English abstract).
10. Ghalavand, A., Mohammadi, K., Agha Alikhani, M., and Sohrabi, Y. 2009. Effect of organic, biological and chemical fertilizers on chickpea grain yield and quality. Journal of Water and Soil Science 1/19 (2): 213-234. (in Persian with English abstract).
11. Ghamari, H., Shafaghkolvagh, J., Sabaghpoure, S. H., and Dabbagh Mohamadi Nassba, A. 2016. Effects of chemical and biological fertilizers on some morpho-physiological traits of purslane (*Portulaca oleracea* L.) and dragon’s head (*Lallemantia iberica* Fisch. and C.A. Mey) cultivated under intercropping system. Notulae Scientia Biologicae 8 (1): 112-117.
12. Gholami, A., Akbari, I., and Abbas Dokht, H. 2015. Study the effects of bio and organic fertilizers on growth characteristics and yield of Fennel (*Foeniculum vulgar*). Agroecology 7 (2): 215-224. (in Persian with English abstract).
13. Hooker, K. V., Coxon, C. E., Hackett, R., Kirwan, L. E., O’Keeffe, E., and Richards, K. G. 2008. Evaluation of cover crop and reduced cultivation for reducing nitrate leaching in Ireland. Journal of Environmental Quality 37: 138-145.
14. Hoyle, F. C., Murphy, D. V., and Fillery, I. R. P. 2006. Temperature changes and stubble management influence microbial CO_2-C evaluation and gross N transformation rates. Soil Biology and Biochemistry 38: 71-80.
15. Inanloofar, M., Omidi, H., and Pazoki, A. R. 2013. Morphological, agronomical changes and oil content in Purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress and biological /chemical fertilizer of nitrogen. Journal of Medicinal Plant 48: 170-184. (in Persian with English abstract).
16. Jahan, M., Amiri, M. B., Aghhavani Shajari, M., and Tahami, M. K. 2014. Quantity and quality of *Cucurbita pepo* L. as affected by winter cover crops (*Lathyrus sativus* and *Trifolium resopinatum*), PGPRs and organic manures. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (2): 337-356. (in Persian with English abstract).
17. Javadi, H., Rezvani Moghaddam, P., Seghatoleslami, M. J., and Mosavi, Gh. R. 2017. Effect of sowing date and plant density on yield and yield components of common Purslane (*Protulaca Oleracea* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 15 (1): 113-123. (in Persian with English abstract).
18. Kafi, M., and Rahimi, Z. 2010. Effect of salinity on germination characteristics of Purslane (*Portulaca oleracea* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 8 (4): 615-621. (in Persian with English abstract).
19. Kohanmoo, M. A., Aghaalikhani, M., and Rejali, F. 2015. Yield and quality response of three chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) ecotypes to biofertilizers application in Bushehr region. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31 (3): 460-478. (in Persian with English abstract).
20. Mirzashahi, K., Paknejad, A. R., and Omidvari, Sh. 2016. Effect of rotation, management of nitrogen application, and plant residue on corn (cv.SC704) yield and some soil chemical properties. Iranian Journal of Soil Reserch 30 (2): 115-124. (in Persian with English abstract).
21. Mohiti, A., Shahsavani, S., and Gholami, A. 2011. Effect of cow manure, urea fertilizer and Nitroxine manure on some physical and chemical properties of soil and yield of forage corn. MSc. Thesis of Shahrood University. (in Persian with English abstract).
22. Morphy, J., and Riley, J. P. 1962. Phosphorus analysis procedure. In: Methods of Soil Analysis: part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A. L. (Ed). 1982. Second Edition. Madison, Wisconsin USA. pp. 413-427.
23. Nasirzade, S., Fallah, S., Kiani, Sh., and Mohammadkhani, A. 2015. Effect of different levels of cow manure and urea on quantitative and qualitative characteristics of isabgol (*Plantago ovata* Forssk.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31(1): 41-51. (in Persian with English abstract).
24. Ngo, P. T., Rumpel, C., Doan, T., and Jouquet, P. 2012. The effect of earthworms on carbon storage and soil organic matter composition in tropical soil amended with compost and vermicompost. Soil Biology and Biochemistry 50: 214-220.
25. Nourihoseini, S. M., Khorassani, R., Astaraei, A. R., Rezvani Moghaddam, P., and Zabihi, H. R. 2016. Effect of different fertilizer resources and humic acid on some morphological criteria, yield and antioxidant activity of black zira seed (*Bunium persicum* Boiss). Applied Field Crops Research 29 (4): 87-104. (in Persian with English abstract).
26. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watenabe, F. S., and Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate, United States Department of Agriculture. Cris. 939. USA.
27. Poorhasankhani Dowlatabad, M., Madah Hosseini, Sh., Dashti, H., and Rahimi, A. 2015. Effect of green manure on soil organic matter and some growth indices of Maize (*Zea mays* L.) in Rafsanjan region. Plant Production Technology 15 (2): 69-80. (in Persian with English abstract).

28. Rahimi, Z., Kafi, M., Nezami, A., and Khozaie, H. R. 2011. Effect of salinity and silicon on some morphophysiologic characters of Purslane (*Portulaca oleracea* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27 (3): 359-374. (in Persian with English abstract).
29. Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidari, Gh. R., Eivazi, A. R., and Hoseini, S. M. T. 2013. Effect of biofertilizers on macro and micro nutrients uptake and essential oil content in *Dracocephalum moldavica* L. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (1): 179-190. (in Persian with English abstract).
30. Rathke, G. W., Christen, O., and Diepenbrock, W. 2005. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. Field Crops Research 94: 103-113.
31. Rezvani Moghaddam, P., and Seyyedi, S. M. 2014. The Effects of organic and biological fertilizers on phosphorus and potassium uptake by black seed (*Nigella sativa* L.). Journal of Horticultural Science 28 (1): 43-53. (in Persian with English abstract).
32. Rezvani Moghaddam, P., Seyedi, S. M., and Azad, M. 2014. Effects of organic, chemical and biological sources of nitrogen on nitrogen use efficiency in black seed (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30 (2): 260-274. (in Persian with English abstract).
33. Salehi, A., Fallah, S., and Abbasi Sourki, A. 2017. Organic and inorganic fertilizer effect on soil CO_2 flux, microbial biomass, and growth of *Nigella sativa* L. International Agrophysics 31: 103-116.
34. Seyyedi, M., Khajeh-Hosseini, M., Rezvani Moghaddam, P., and Shahandeh, H. 2015 a. Relation between the increasing soluble phosphorus and nitrogen uptake and its effects on phosphorus harvest index of black seed. Iranian Journal of Field Crop Science 46 (1): 25-36. (in Persian with English abstract).
35. Seyyedi, S. M., Rezvani Moghaddam, P., Khajeh Hossieni, M., and Shahandeh, H. 2015 b. Effects of sulfur, vermicompost + *Thiobacilus* bacteria on some chemical properties of calcareous soil and phosphorus use efficiency of black seed. Journal of Plant Ecophysiology 22: 205-220. (in Persian with English abstract).
36. Shamsaddin, M., Saied, M., Ghanbari, A., Ramroudi, M., and Khezri, A. 2017. Effects of green manure management and fertilization treatments on the chemical and physical properties and fertility of soil. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources 21 (1): 37-49. (in Persian with English abstract).
37. Sharma, P., Shukla, M. K., and Mexal, J. G. 2011. Spatial variability of soil properties in agricultural fields of southern New Mexico. Soil Science 6: 288-302.
38. Shah, Z., Rashid, A., Rahman, H. U., Latif, A., and Shah, A. 2011. Rice and wheat yield in relation to biomass of green manure legumes. Sarhad Journal of Agriculture 27 (1): 73-84.
39. Sharpley, A. N., McDowell, R., and Kleinman, P. J. A. 2004. Amounts, forms, and solubility of phosphorus in soils receiving manure. Soil Science Society of America Journal 68: 2048-2057.
40. Silva Carvalho, N., Bruno Bitencourt Oliveira, A., Moura Calaço Pessoa, M., Paulo Costa Neto, V., Silva de Sousa, R., Rodrigues da Cunha, J., Gonçalves Coutinho, A., Maria dos Santos, V., and Sergio Ferreira de Araujo, A. 2015. Short-term effect of different green manure on soil chemical and biological properties. African Journal of Agriculture Research 10 (43): 4076-4081.
41. Singh, M. 2012. Influence of organic mulching and nitrogen application on essential oil yield and nitrogen use efficiency of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). Archives of Agronomy and Soil Science 59: 273-279.
42. Trupiano, D., Cocozza, C., Baronti, S., Amendola, C., Primo Vaccari, F., Lustrato, G., Di Lonardo, S., Fantasma, F., Tognetti, R., and Stefania Scippa, G. 2017. The effects of biochar and its combination with compost on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, soil properties, and soil microbial activity and abundance. International Journal of Agronomy 31: 1-12.
43. Walkly, A., and Black, I. A. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.
44. Yang, Y. C., Zhang, M., Zheng, L., Cheng, D. D., Liu, M., and Geng, Y. Q. 2011. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, yield, and quality of wheat. Agronomy Journal 103(2): 479-485.
45. Yevdokimov, I., Gattinger, A., Buegger, F., Munch, J. C., and Schloter, M. 2008. Changes in microbial commu nity struct ure in soil as a result of different amounts of nitrogen fertiliza tion. Biology and Fertility of Soils 44: 1103-1106.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 2, Summer. 2019, p. 187-205

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، ص. ۲۰۵-۱۸۷

Effect of Fertilizer Management on Some Chemical Properties of Soil and Absorption of Nitrogen and Phosphorus Elements by Purslane (*Portulaca oleracea* L.)

H. Javadi[1], P. Rezvani Moghaddam[2*], M. H. Rashed Mohasel[3], M. J. Seghatoleslami[4]

Received: 17-09-2017
Accepted: 29-10-2018

Introduction

Legumes are widely used in agricultural systems as green manure due to their ability to stabilize nitrogen in the soil, as well as providing conditions for beneficial soil microorganisms. Organic fertilizers such as vermicompost and manure have high capacity for water absorption and the maintenance of water and nutrients, high porosity, ventilation and appropriate drainage in the soil. Recently, bio-fertilizers have also been used to improve nutrient uptake and root development of plants along with chemical fertilizers. Lack of organic matter in most soils of Iran and its calcite properties will double the need to replace chemical fertilizers with organic fertilizers. Due to the lack of information on nutritional management of medicinal plants, and in order to increase soil fertility and the need to reduce the application of chemical fertilizers, this study was done to investigate the effect of different fertilizers on some soil chemical properties and the absorption of N and P elements in Birjand.

Materials and Methods

This research was carried out in two separate experiments during two growing years from 2014 to 2016 at the research farm of Birjand University with 3 replications. During the first experiment, the effect of four levels of green manures, including control, *Eruca sativa*, *Vicia villosa*, mix *Eruca sativa* + *Vicia villosa* and three levels of nitrogen (0, 50 and 100 kg.ha^{-1}) on Purslane was studied. Furthermore, during the second experiment, the treatments were combination of four sources of nitrogen supply, including cow manure, vermicompost, chemical fertilizers (NPK) and control, as well as four types of biofertilizers, including *Azotobacter* and *Azospirilum*, *Glomus intraradices*, *Thiobacillus* with sulfur and control on Purslane was studied. The studied traits were included grain yield and soil chemical properties such as organic carbon, the percentage of nitrogen, absorbable phosphorus, pH, EC and nitrogen and phosphorus content of biomass. The percentage of nitrogen in plant tissue was measured by Kjeldahl method and the percentage of phosphorus was measured by Morphy and Riley method. Furthermore, the organic carbon in soil was determined by Walkley- Black method, total nitrogen and available phosphorus were measured using the Kjeldahl and Olsen methods, respectively. The soil acidity was determined on the saturated water through pH meter and electrical conductivity of the soil saturation extract was determined through EC meter. After collecting data, statistical analysis was performed using Minitab 17 software. LSD test was used at the 5% probability level to compare the averages.

Results and Discussion

The results showed that the application of green manure increased the organic carbon and nitrogen content of soil, the amount of phosphorus absorbed by soil and decreased soil pH. Among green manure treatments, *Vicia villosa* was superior to the others. Also, using nitrogen fertilizer increased grain yield and the amount of absorbed phosphorus, soil electrical conductivity and reduced soil pH. Among nitrogen supply sources, cow manure had the greatest impact on grain yield and soil chemical properties, but the role of biofertilizer application was limited to increasing the amount of available phosphorus in the soil. Therefore, the role of cow manure in improving the chemical status of soil was superior to the others. Due to the low soil organic matter in most arid and semi-arid regions of Iran, especially South Khorasan, it seems that proper usage of organic resources can improve soil conditions of these areas for the growth and yield of medicinal plants such as Purslane.

1- Ph.D. Student, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhsd, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
4- Associate Professor, Department of Agriculture, Birjand branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran
(*- Corresponding Author Email: rezvani@um.ac.ir)

Conclusions

In this study, in order to reduce the use of chemical fertilizers and to absorb the maximum amount of nitrogen and phosphorus, the Purslane biomass was treated with mix *Eruca sativa* + *Vicia villosa* without using nitrogen fertilizer and combined treatment of cow manure and mycorrhiza. The results recommended that combination of cow manure and mycorrhiza is suitable approach under Birjand condition.

Keywords: Biosulfur, Cow manure, Mycorrhiza, Nitroxin, Vermicompost